

# MAGNETORESISTIVE ELEMENT AND MAGNETIC MEMORY DEVICE

Publication number: JP2003304010

Publication date: 2003-10-24

Inventor: HOSOMI MASAKATSU; MIZUGUCHI TETSUYA; OBA KAZUHIRO; BESSHO KAZUHIRO; YAMAMOTO TETSUYA; KANO HIROSHI

Applicant: SONY CORP

Classification:

- international: **H01F10/16; G01R33/09; G11C11/15; H01F10/187; H01F10/30; H01F10/32; H01L21/8246; H01L27/105; H01L27/22; H01L43/08; H01L43/10; H01F10/12; G01R33/06; G11C11/02; H01F10/00; H01F10/10; H01L21/70; H01L27/105; H01L27/22; H01L43/00; H01L43/08; (IPC1-7): H01L43/08; H01F10/16; H01F10/187; H01F10/30; H01F10/32; H01L27/105**

- european: G01R33/09B; G11C11/15; H01F10/32B; H01F10/32N; H01F10/32N6A2; H01L21/8246M; H01L27/22; H01L43/10; Y01N4/00; Y01N12/00

Application number: JP20020106926 20020409

Priority number(s): JP20020106926 20020409

Also published as:



EP1494295 (A1)

WO03085750 (A1)

US2004245553 (A)

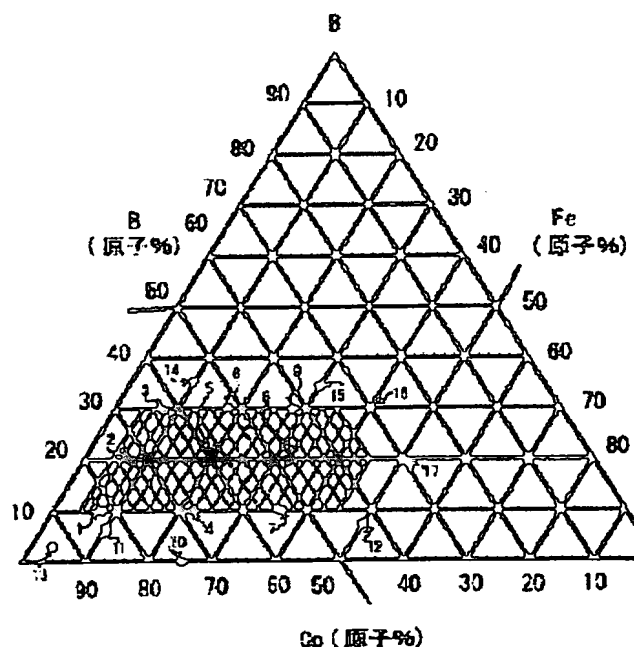
Report a data error here

## Abstract of JP2003304010

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To simultaneously improve writing characteristics and reading characteristics by applying to a ferromagnetic layer a new material which has not been available heretofore.

**SOLUTION:** A magnetoresistive element comprises: a pair of the ferromagnetic layers opposed via an intermediate layer to obtain a magnetoresistance change by supplying current perpendicularly to a film surface. In this element, at least one of the magnetic layers contains a ferromagnetic material containing Fe, Co and B. The ferromagnetic material preferably contains FeaCobNicBd, wherein a, b, c and d each shows atomic %,  $5 \leq a \leq 45$ ,  $35 \leq b \leq 85$ ,  $0 \leq c \leq 35$ , and  $10 \leq d \leq 30$  are satisfied, and  $a+b+c+d=100$  is satisfied.

COPYRIGHT: (C)2004,JPO



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-304010

(43)Date of publication of application : 24.10.2003

(51)Int.Cl.

H01L 43/08  
H01F 10/16  
H01F 10/187  
H01F 10/30  
H01F 10/32  
H01L 27/105

(21)Application number : 2002-106926

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 09.04.2002

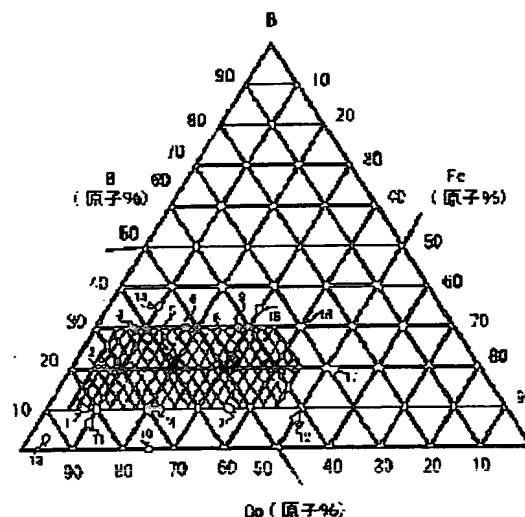
(72)Inventor : HOSOMI MASAKATSU  
MIZUGUCHI TETSUYA  
OBA KAZUHIRO  
BESSHO KAZUHIRO  
YAMAMOTO TETSUYA  
KANO HIROSHI

## (54) MAGNETORESISTIVE ELEMENT AND MAGNETIC MEMORY DEVICE

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To simultaneously improve writing characteristics and reading characteristics by applying to a ferromagnetic layer a new material which has not been available heretofore.

**SOLUTION:** A magnetoresistive element comprises: a pair of the ferromagnetic layers opposed via an intermediate layer to obtain a magnetoresistance change by supplying current perpendicularly to a film surface. In this element, at least one of the magnetic layers contains a ferromagnetic material containing Fe, Co and B. The ferromagnetic material preferably contains  $\text{Fe}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{B}_d$ , wherein a, b, c and d each shows atomic %,  $5 \leq a \leq 45$ ,  $35 \leq b \leq 85$ ,  $0 < c \leq 35$ , and  $10 \leq d \leq 30$  are satisfied, and  $a+b+c+d=100$  is satisfied.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

20.04.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-304010

(P2003-304010A)

(43) 公開日 平成15年10月24日 (2003. 10. 24)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	M 5 E 0 4 9
			Z 5 F 0 8 3
H 0 1 F 10/16		H 0 1 F 10/16	
10/187		10/187	
10/30		10/30	

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-106926(P2002-106926)

(22) 出願日 平成14年4月9日(2002. 4. 9)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 細見 政功

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 水口 徹也

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(74) 代理人 100110434

弁理士 佐藤 勝

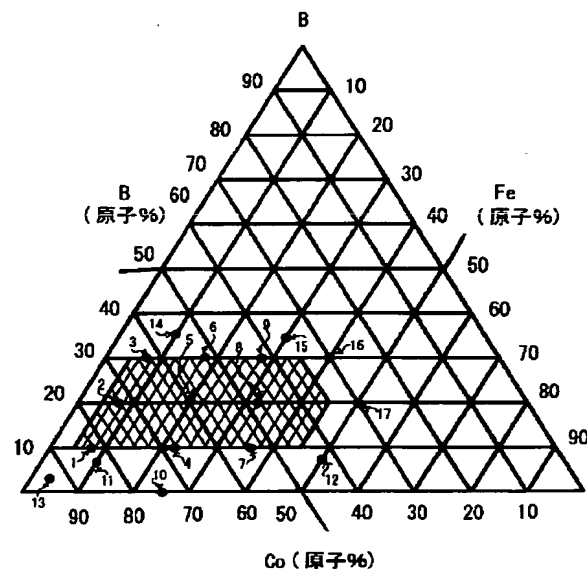
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ装置

(57) 【要約】

【課題】 これまでない新規な材料を強磁性層に適用することにより、書き込み特性及び読み出し特性を同時に向上する。

【解決手段】 一対の強磁性層が中間層を介して対向されてなり、膜面に対して垂直に電流を流すことによって磁気抵抗変化を得る構成の磁気抵抗効果素子において、上記強磁性層のうち少なくとも一方は、Fe、Co及びBを含有する強磁性材料を含む。上記強磁性材料は、 $\text{Fe}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{B}_d$  (式中、a、b、c及びdは原子%を表す。また、 $5 \leq a \leq 45$ 、 $35 \leq b \leq 85$ 、 $0 < c \leq 35$ 、 $10 \leq d \leq 30$ である。また、 $a + b + c + d = 100$ である。)を含有することが好ましい。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 一对の強磁性層が中間層を介して対向されてなり、膜面に対して垂直に電流を流すことによって磁気抵抗変化を得る構成の磁気抵抗効果素子において、上記強磁性層のうち少なくとも一方は、Fe、Co及びBを含有する強磁性材料を含むことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 上記強磁性材料は、 $\text{Fe}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{B}_d$ （式中、a、b、c及びdは原子%を表す。また、 $5 \leq a \leq 45$ 、 $35 \leq b \leq 85$ 、 $0 < c \leq 35$ 、 $10 \leq d \leq 30$ である。また、 $a + b + c + d = 100$ である。）を含有することを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 上記強磁性材料は、 $\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{B}_z$ （式中、x、y及びzは原子%を表す。また、 $5 \leq x \leq 45$ 、 $35 \leq y \leq 85$ 、 $10 \leq z \leq 30$ である。また、 $x + y + z = 100$ である。）を含有することを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 上記強磁性材料はアモルファスであることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 上記中間層としてトンネルバリア層を用いたトンネル磁気抵抗効果素子であることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 上記強磁性層のうち一方が磁化固定層であり、他方が情報記録層であるスピナルブ型磁気抵抗効果素子であることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項7】 積層フェリ構造を有することを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項8】 一对の強磁性層が中間層を介して対向されてなり、膜面に対して垂直に電流を流すことによって磁気抵抗変化を得る構成の磁気抵抗効果素子と、上記磁気抵抗効果素子を厚み方向に挟むワード線及びビット線とを備え、

上記強磁性層のうち少なくとも一方は、Fe、Co及びBを含有する強磁性材料を含むことを特徴とする磁気メモリ装置。

【請求項9】 上記強磁性材料は、 $\text{Fe}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{B}_d$ （式中、a、b、c及びdは原子%を表す。また、 $5 \leq a \leq 45$ 、 $35 \leq b \leq 85$ 、 $0 < c \leq 35$ 、 $10 \leq d \leq 30$ である。また、 $a + b + c + d = 100$ である。）を含有することを特徴とする請求項8記載の磁気メモリ装置。

【請求項10】 上記強磁性材料は、 $\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{B}_z$ （式中、x、y及びzは原子%を表す。また、 $5 \leq x \leq 45$ 、 $35 \leq y \leq 85$ 、 $10 \leq z \leq 30$ である。また、 $x + y + z = 100$ である。）を含有することを特徴とする請求項8記載の磁気メモリ装置。

【請求項11】 上記強磁性材料はアモルファスであることを特徴とする請求項8記載の磁気メモリ装置。

【請求項12】 上記磁気抵抗効果素子は、上記中間層としてトンネルバリア層を用いたトンネル磁気抵抗効果素子であることを特徴とする請求項8記載の磁気メモリ装置。

【請求項13】 上記磁気抵抗効果素子は、上記強磁性層のうち一方が磁化固定層であり、他方が情報記録層であるスピナルブ型磁気抵抗効果素子であることを特徴とする請求項8記載の磁気メモリ装置。

【請求項14】 積層フェリ構造を有することを特徴とする請求項8記載の磁気メモリ装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、膜面に対して垂直に電流を流すことによって磁気抵抗変化を得る構成の磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】情報通信機器、特に携帯端末等の個人用小型機器の飛躍的な普及に伴い、これを構成するメモリやロジック等の素子には、高集積化、高速化、低電力化等、一層の高性能化が要請されている。特に不揮発性メモリの高密度・大容量化は、可動部分の存在により本質的に小型化が不可能なハードディスクや光ディスクを置き換える技術として、ますます重要度が増している。

【0003】不揮発性メモリとしては、半導体を用いたフラッシュメモリや、強誘電体を用いたFRAM（Ferroelectric Random Access Memory）等が挙げられる。しかしながら、フラッシュメモリは、書き込み速度がμ秒オーダーと遅いという欠点がある。一方、FRAMにおいては、書き換え可能回数が少ないという問題が指摘されている。

【0004】これらの欠点がない不揮発性メモリとして注目されているのが、例えば「Wanget al., IEEE Trans Magn. 33 (1997), 4498」に記載されているような、MRAM（Magnetic Random Access Memory）とよばれる磁気メモリ装置である。このMRAMは、構造が単純であるため高集積化が容易であり、また磁気モーメントの回転により記憶を行うために書き換え可能回数が大である。またアクセス時間についても非常に高速であることが予想され、既にナノ秒台で動作可能であることが確認されている。

【0005】このMRAMに用いられる磁気抵抗効果素子、特にトンネル磁気抵抗効果（Tunnel Magnetoresistance :TMR）素子は基本的に強磁性層／トンネルバリア層／強磁性層の強磁性トンネル接合で構成される。この素子では、強磁性層間に一定の電流を流した状態で強磁性層間に外部磁場を印加した場合、両磁性層の磁化の相対角度に応じて磁気抵抗効果が現れる。双方の強磁性層の磁化の向きが反平行の場合は抵抗値が最大となり、平行の場合は抵抗値が最小となる。メモリ素子としての機能は外部磁場により反平行と平行の状態を作り出すこと

によってもたらされる。

【0006】特にスピナルブ型のTMR素子においては、一方の強磁性層が隣接する反強磁性層と反強磁性的に結合することによって磁化の向きを常に一定とされ、磁化固定層とされる。他方の強磁性層は、外部磁場等によって容易に磁化反転する情報記録層とされる。

【0007】この抵抗の変化率はそれぞれの磁性層のスピンスピン分極率をP1、P2とすると、下記の式(1)で表される。

$$2P_1P_2/(1-P_1P_2) \quad \dots \text{式(1)}$$

【0008】このように、それぞれのスピンスピン分極率が大きいほど抵抗変化率が大きくなる。強磁性層に用いる材料と、この抵抗変化率の関係についてはこれまでに、Fe、Co、Ni等のFe族の強磁性体元素やそれら3種類のうちの合金についての報告がなされている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】ところで、MRAMの基本的な構成は、例えば特開平10-116490号公報に開示されているように、複数のビット書き込み線と、これら複数のビット書き込み線に直交する複数のワード書き込み線とを設け、これらビット書き込み線とワード書き込み線との交点に磁気メモリ素子としてTMR素子が配されてなる。そして、このようなMRAMで記録を行う際には、アステロイド特性を利用してTMR素子に対して選択書き込みを行う。

【0010】MRAMに使用されるビット書き込み線及びワード書き込み線には、通常の半導体装置の配線材料であるCu、Al等の導体薄膜が使用される。このような通常の配線材料を用い、且つ0.25μm線幅とされたビット書き込み線及びワード書き込み線によって例えば反転磁界が200eである磁気メモリ素子に対して書き込むためには、約2mAの電流が必要となる。ビット書き込み線及びワード書き込み線の厚みが線幅と同じ0.25μmである場合、このときの電流密度は、エレクトロマイグレーションによる断線限界値に近い $3.2 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ である。したがって、配線の信頼性を維持するためには、書き込み電流の低減が不可欠である。また、書き込み電流による発熱の問題や、消費電力低減の観点からも、この書き込み電流を低減させる必要がある。

【0011】MRAMにおける書き込み電流の低減を実現する手法として、TMR素子の保磁力を低減させることが挙げられる。TMR素子の保磁力は、TMR素子の大きさ、形状、層構成、材料の選択等によって適宜決定されるものである。しかしながら、例えばMRAMの記録密度の向上を目的としてTMR素子を微細化した場合には、TMR素子の保磁力が上昇するといった不都合が生じる。したがって、MRAMの微細化(高集積化)と書き込み電流の低減とを同時に達成するためには、材料面からTMR素子の保磁力低減を達成する必要がある。

【0012】また、MRAMにおいてTMR素子の磁気特性が素子毎にばらつくことや、同一素子を繰り返し測定した場合のばらつきが存在するとアステロイド特性を使用した選択書き込みが困難となるという問題点がある。したがって、TMR素子には、理想的なアステロイド曲線を描かせるための磁気特性も求められる。理想的なアステロイド曲線を描かせるためには、TMR測定を行った際のR-H(抵抗-磁場)曲線においてバルクハウゼンノイズ等のノイズがないこと、波形の角形性が良いこと、磁化状態が安定しており保磁力Hcのばらつきが少ないことが必要である。

【0013】ところで、TMR素子の情報読み出しは、トンネルバリア層を挟んだ一方の強磁性層と他方の強磁性層との磁気モーメントが反平行であり抵抗値が高い場合を例えば"1"、その逆に各々の磁気モーメントが平行である場合を"0"としてそれらの状態での一定バイアス電圧での差電流や一定バイアス電流での差電圧により読み出しを行う。したがって、素子間の抵抗ばらつきが同じである場合には、TMR比が高いほど有利であり、高速で集積度が高く、エラーレートの低いメモリが実現される。

【0014】また、TMR素子には抵抗変化率のバイアス電圧依存性が存在し、バイアス電圧が上昇するにつれてTMR比が減少していくことが知られている。差電流又は差電圧で読み出しを行う場合に、多くの場合に抵抗変化率がバイアス電圧依存性により半減する電圧(Vh)で読み出し信号の最大値をとることが知られているので、バイアス電圧依存性も少ない方が読み出しエラーの低減において有効である。

【0015】以上のように、MRAMに用いられるTMR素子には、上述の書き込み特性要件と読み出し特性要件とを同時に満足することが必要である。

【0016】しかしながら、TMR素子の強磁性層の材料を選択する場合に、式(1)のP1及びP2で示されるスピンスピン分極率が大きくなるような合金組成をCo、Fe、Niの強磁性遷移金属元素のみを成分とする材料から選択すると、一般的にTMR素子の保磁力Hcが増大する傾向にある。

【0017】例えば、Co75Fe25(原子%)合金等を情報記録層に用いた場合は、スピンスピン分極率が大きく40%以上の高いTMR比が確保できるが、保磁力Hcも大きくなる。

【0018】代わりに、軟磁性材料として知られるパーマロイと称されるNi80Fe20(原子%)合金等を用いた場合、保磁力Hcの低減は可能であるものの、上述のCo75Fe25(原子%)合金と比較してスピンスピン分極率が小さいためにTMR比が33%程度まで低下してしまう。

【0019】また、Co90Fe10(原子%)は、約37%のTMR比を得られるとともに、保磁力Hcを上

10

20

30

40

50

述のCo75Fe25（原子％）合金とNi80Fe20（原子％）合金との中間程度に抑えられるが、R-H曲線の角形性が劣り、書き込みを可能とするアステロイド特性が得られない。

【0020】そこで本発明はこのような従来の実情に鑑みて提案されたものであり、これまでにない新規な材料を強磁性層に適用することにより、書き込み特性及び読み出し特性を同時に向上する磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ装置を提供することを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、本発明に係る磁気抵抗効果素子は、一対の強磁性層が中間層を介して対向されてなり、膜面に対して垂直に電流を流すことによって磁気抵抗変化を得る構成の磁気抵抗効果素子において、上記強磁性層のうち少なくとも一方は、Fe、Co及びBを含有する強磁性材料を含むことを特徴とする。

【0022】また、本発明に係る磁気メモリ装置は、一対の強磁性層が中間層を介して対向されてなり、膜面に対して垂直に電流を流すことによって磁気抵抗変化を得る構成の磁気抵抗効果素子と、上記磁気抵抗効果素子を厚み方向に挟むワード線及びビット線とを備え、上記強磁性層のうち少なくとも一方は、Fe、Co及びBを含有する強磁性材料を含むことを特徴とする。

【0023】少なくとも一方の強磁性層が、強磁性材料として強磁性遷移金属元素であるFe及びCoに加えてBを含有することによって、磁気抵抗効果素子の磁気抵抗（MR）比の向上、R-H曲線の角形性の改善、MR比のバイアス電圧依存性の改善、保磁力のばらつきの改善を図ることができる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明を適用した磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ装置について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0025】本発明を適用したトンネル磁気抵抗効果素子（以下、TMR素子と称する。）1は、例えば図1に示すように、Si等からなる基板2上に、下地層3と、反強磁性層4と、強磁性層である磁化固定層5と、トンネルバリア層6と、強磁性層である情報記録層7と、トップコート層8とがこの順に積層されて構成される。このTMR素子1は、一対の強磁性層である磁化固定層5と情報記録層7とでトンネルバリア層6を挟み込むことにより、強磁性トンネル接合9を形成している。TMR素子1は、強磁性層の一方が磁化固定層5とされ、他方が情報記録層7とされたいわゆるスピンバルブ型のTMR素子である。

【0026】反強磁性層4は、強磁性層の一方である磁化固定層5と反強磁性的に結合することにより、書き込みのための電流磁界によっても磁化固定層5の磁化を反転させず、磁化固定層5の磁化の向きを常に一定とする

ための層である。すなわち、図1に示すTMR素子1においては、他方の強磁性層である情報記録層7だけを外部磁場等によって磁化反転させる。反強磁性層4を構成する材料としては、Fe、Ni、Pt、Ir、Rh等を含むMn合金、Co酸化物、Ni酸化物等を使用することができる。

【0027】同図に示すスピンバルブ型のTMR素子1においては、磁化固定層5は、反強磁性層4と反強磁性的に結合することによって磁化の向きを一定とされる。このため、書き込みの際の電流磁界によっても磁化固定層5の磁化は反転しない。

【0028】トンネルバリア層6は、スパッタリング法や蒸着法等によって成膜された金属膜を、酸化又は窒化することにより得ることができる。また、トンネルバリア層6は、有機金属と、酸素、オゾン、窒素、ハロゲン、ハロゲン化ガス等を用いるCVD法によって得ることもできる。

【0029】そして本発明では、強磁性トンネル接合9のうち強磁性層である磁化固定層5、情報記録層7の少なくとも一方が、強磁性材料として強磁性遷移金属元素であるFe及びCoとともにBを含有する。強磁性遷移金属元素のみで強磁性層を構成した従来のTMR素子では、スピン分極率を高めると保磁力も増大するといった不都合を伴うが、本発明ではこのような強磁性材料を含有することによってスピン分極率の向上と保磁力の低減とを両立し、TMR比の向上及び書き込み電流の低減を実現できる。しかも、本発明では、高いTMR比と低い保磁力とを両立しつつ、R-H曲線の角形性を損なうことがない。また、Bを含有することによって、バイアス電圧依存性の改善も可能となる。

【0030】ここで、情報記録層が強磁性材料として本発明の範囲内である（Co90Fe10）80B10を含有するTMR素子と、情報記録層が強磁性材料としてCo90Fe10を含有するTMR素子とをそれぞれ実際に作製し、これらについて抵抗-外部磁場曲線を測定した結果を図2に示す。図2から明らかなように、情報記録層が強磁性材料としてFe、Co、Bを含有するTMR素子では、Fe及びCoのみを含有するTMR素子に比べて、TMR比を高く維持しつつ保磁力Hcを低減することが可能であった。また、R-Hループの角形性が向上するとともにバルクハウゼンノイズも低減された。したがって、本発明によれば、書き込み電流の低減が可能となるばかりでなく、アステロイド曲線の形状も改善されて書き込み特性が向上し、書き込みエラーの低減を図ることが可能となる。

【0031】このような効果が現れる原因は明確ではないが、Bを含有する強磁性層では、微視的な構造が通常の金属組織から微結晶又はアモルファス組織へと組織形態が変化するためと考えられる。ただし、単に微視的な構造がアモルファスであればTMR特性が改善するとい

10

20

30

40

50

うわけではなく、強磁性層が上述の元素を含有し、また、後述する組成範囲を満足することが重要である。  
 【0032】ところで、強磁性層が含有するFe、Co、Bの合金組成には最適範囲が存在し、磁性層のうち少なくとも一方が含有する強磁性材料は、不可避な不純物元素を除いて、組成式 $Fe_xCo_yB_z$ （式中、x、y及びzは原子%を表す。）から構成され、 $5 \leq x \leq 45$ 、 $35 \leq y \leq 85$ 、 $10 \leq z \leq 30$ であることが好ましいといえる。このとき、 $x+y+z=100$ である。これらの規定について以下に述べる。

【0033】先ず、強磁性層に添加するBについて説明する。Bの添加量が10原子%未満である場合には、ベースとなるFe-Co合金の磁気特性が大きく反映され、緩やかな改善効果が認められるのみである。したがって、10原子%以上のBを含有することにより、Fe、Co等を同じ比率で含む合金と比較して、TMR比が顕著に増大するとともに、R-H曲線の角形性が改善される。また、TMR比のバイアス依存性も改善され、さらに情報記録層の磁化状態が安定しているため、保磁力のばらつきが小さく、R-H曲線に見られるノイズも大幅に低減する。また、Bの添加量は30原子%以下であることが好ましい。Bの添加量が30原子%を上回ると、情報記録層の強磁性的な特性及び磁化固定層の固定磁界が損なわれ始める。この結果、TMR比の低下、R-H曲線の角形性の劣化及び保磁力の減少を招くおそれがある。したがって、Bを添加することによる本発明の効果を確実に得るためには、Fe-Co合金の組成により若干変化するが、少なくとも一方の強磁性層は10原子%以上、30原子%以下のBを含有することが好ましい。

【0034】次に、ベースとなる（Fe、Co）合金について説明する。本発明の効果を顕著に得る観点では、Coは必須の元素である。具体的には、Bを含めた合金組成で少なくとも35原子%のCoが必要である。Bが添加された場合の効果を促進し、しかも強磁性的な性質を保持するためである。その上でFeが添加されると、Co-Feベース合金での変化と同様に、TMR比の向上及び保磁力の増大効果が認められる。しかし、Feの含有量が45原子%を上回ると、実際の素子寸法では保磁力が過剰に増大し、TMR素子として不適当である。また、Feの含有量が5原子%未満であると強磁性層のスピントラnsfer率が小さく、磁気抵抗効果素子として動作するのに十分なTMR比が得られなくなるおそれがある。したがって、Feの含有量は5原子%以上、45原子%以下とすることが好ましい。

【0035】また、本発明の強磁性トンネル接合の強磁性層の少なくとも一方は、Fe、Co、Bの他にNiを含有していてもかまわない。強磁性層がさらにNiを含有する場合でも、保磁力の増大を抑えつつ良好なTMR比を維持し、R-H曲線の角形性の改善効果を得られ

る。Niの含有量にも最適範囲が存在し、Niは0原子%以上、35原子%以下であることが好ましい。Niの含有量が35原子%を上回ると、保磁力が小さくなりすぎてTMR素子の動作の制御が困難となるおそれがあるためである。すなわち、強磁性層のうち少なくとも一方が含有する強磁性材料は、不可避な不純物元素を除いて、組成式 $Fe_aCo_bNi_cB_d$ （式中、a、b、c及びdは原子%を表す。）から構成され、 $5 \leq a \leq 45$ 、 $35 \leq b \leq 85$ 、 $0 < c \leq 35$ 、 $10 \leq d \leq 30$ であることが好ましい。このとき、 $a+b+c+d=100$ である。

【0036】以上のようなFe、Co、Bを含有する強磁性材料は、情報記録層7、磁化固定層5の少なくとも一方に適用すればよいが、少なくとも情報記録層7、より好ましくは情報記録層7及び磁化固定層5の双方に適用させることによって、本発明の効果をより顕著に得られる。勿論、Fe、Co、Bを含有する強磁性材料を含む強磁性層以外の強磁性層は、この種の磁気抵抗効果素子に通常用いられる材料をいずれも使用可能である。

【0037】また、例えば上述の材料を情報記録層7に適用する場合、情報記録層7の膜厚は1nm以上、10nm以下であることが好ましく、この範囲内であることによって良好な磁気特性を確保できる。情報記録層7の膜厚が1nm未満である場合には磁気特性が大幅に損なわれ、逆に情報記録層7の膜厚が10nmを上回る場合にはTMR素子の保磁力が過剰に高くなるので実用上不適当となるおそれがあるためである。ただし、情報記録層7が上述の元素を含む材料からなる層の単層ではなく、例えば上述の元素を含む材料からなる層と、例えば磁化量の小さなNiFe層等との積層構造である場合には、情報記録層7の膜厚の合計は10nmを上回ってもかまわない。

【0038】また、上述の材料を磁化固定層5に適用する場合、磁化固定層5の膜厚は0.5nm以上、6nm以下であることが好ましく、この範囲内であることによって本発明の効果をより確実に得られる。磁化固定層5の膜厚が0.5nm未満である場合には磁気特性が損なわれ、逆に磁化固定層5の膜厚が6nmを上回る場合には反強磁性層4との交換結合磁界を十分に得られなくなるおそれがある。

【0039】なお、本発明のTMR素子としては、図1に示すような磁化固定層5及び情報記録層7のそれぞれが単層から構成される場合に限定されない。例えば図3に示すように、磁化固定層5が、第1の磁化固定層5aと第2の磁化固定層5bとで導電体層5cを挟み込んだる積層フェリ構造とされる場合であっても、本発明の効果を達成することができる。図3に示すTMR素子10では、第1の磁化固定層5aが反強磁性層4と接しており、これらの層間に働く交換相互作用によって、第1の磁化固定層5aは強い一方向の磁気異方性を持つ。積層



フェリ構造の導電体層5cに用いられる材料としては、例えばRu、Cu、Cr、Au、Ag等が挙げられる。図3のTMR素子10の他の層については、図1に示すTMR素子1とはほぼ同様の構成であるため、図1と同じ符号を付し詳細な説明を省略する。

【0040】また、本発明のTMR素子は、図1及び図3に示す層構成に限定されず、公知の様々な層構成をとりうることは勿論である。

【0041】さらに、本発明は、一対の強磁性層が非磁性導体層を挟んでなり、膜面に対して垂直に電流を流すことによって磁気抵抗変化を得る構成のスピンバルブ型磁気抵抗効果素子に適用した場合であっても上述の効果を得ることができる。

【0042】上述のようなTMR素子等の磁気抵抗効果素子は、例えばMRAM等の磁気メモリ装置に用いられて好適である。以下、本発明のTMR素子を用いたMRAMについて、図4及び図5を参照しながら説明する。

【0043】本発明のTMR素子を有するクロスポイント型のMRAMアレイを、図4に示す。同図に示すMRAMアレイは、複数のワード線WLと、これらワード線WLと直交する複数のビット線BLとを有し、ワード線WLとビット線BLとの交点に本発明のTMR素子が配置されてなるメモリセル11とを有する。すなわち、このMRAMアレイでは、3×3のメモリセル11がマトリクス状に配列される。勿論、MRAMアレイに用いられるTMR素子としては、図1に示すTMR素子に限定されず、積層フェリ構造を有する図3に示すTMR素子10等、膜面に対して垂直に電流を流すことによって磁気抵抗変化を得る構成の磁気抵抗効果素子において強磁性層のうち少なくとも一方が上述の強磁性材料を含んでいるのであればいかなる構成であってもかまわない。

【0044】各メモリセル11は、図5に示すように、例えばシリコン基板12上に、ゲート電極13、ソース領域14及びドレイン領域15からなるトランジスタ16を有する。ゲート電極13は、読み出し用のワード線WL1を構成している。ゲート電極13上には、絶縁層を介して書き込み用のワード線WL2が形成されている。トランジスタ16のドレイン領域15にはコンタクトメタル17が接続され、さらにコンタクトメタル17には下地層18が接続されている。この下地層18上の書き込み用のワード線WL2の上方に対応する位置に、本発明のTMR素子1が形成されている。このTMR素子1上に、ワード線WL1及びWL2と直交するビット線BLが形成されている。

【0045】本発明を適用したMRAMは、先に述べたように、強磁性トンネル接合を構成する強磁性層のいずれか一方が特定の元素を含有するTMR素子1を用いているので、TMR出力に極めて優れ、メモリ動作の安定性が飛躍的に向上する。また、本発明のMRAMは、TMR比のバイアス電圧依存特性が向上したTMR素子1

を用いているので、読み出し時に低抵抗状態と高抵抗状態との判別が容易となり、エラーレートが低減する。さらに、R-H曲線においてノイズが低減し、アステロイド特性が向上するので書き込みエラーの低減が図られる。以上まとめると、本発明のMRAMは、読み出し特性及び書き込み特性を同時に満足することができる。

【0046】なお、本発明のTMR素子等の磁気抵抗効果素子は、先に述べた磁気メモリ装置のみならず、磁気ヘッド及びこの磁気ヘッドを搭載したハードディスクドライブ、集積回路チップ、さらにはパソコン、携帯端末、携帯電話をはじめとする各種電子機器、電気機器等に適用することが可能である。

【0047】また、本発明は上述の記載に限定されることはなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において適宜変更可能である。

【0048】

【実施例】以下、本発明を適用した具体的な実施例について、実験結果に基づいて説明する。なお、図4及び図5を用いて説明したように、MRAMにはTMR素子以外にスイッチング用のトランジスタ等が存在するが、本実施例ではTMR特性を調べるために図6及び図7に示すような強磁性トンネル接合のみを形成したウェハにより検討を行った。

【0049】実験1

まず、強磁性トンネル接合の強磁性層のいずれか一方がFe、Co及びBを含むことによる効果、並びに強磁性層の組成の最適範囲について検討した。

【0050】＜サンプル1＞図6及び図7に示すように、本実施例で用いる特性評価用素子（Test Element Group：TEG）は、基板21上に、ワード線WLとビット線BLとが直交して配され、これらワード線WLとビット線BLとの交差する部分に磁気抵抗効果素子22が形成されている。ここで形成される磁気抵抗効果素子22は、短軸0.5μm×長軸1.0μmの楕円形状を呈する。また、ワード線WL及びビット線BLの両端には、それぞれ端子パッド23、24が形成されている。また、ワード線WLとビット線BLとは、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなる絶縁膜25によって電気的に絶縁される。

【0051】このようなTEGは、以下のようにして作製される。まず、基板21上にワード線材料を成膜し、フォトリソグラフィによってマスクした後にワード線以外の部分をArプラズマにより選択的にエッチングし、ワード線を形成した。このとき、ワード線以外の領域は、基板の深さ5nmまでエッチングされた。基板としては、厚み0.6mmの熱酸化膜（2μm）付きシリコン基板を用いた。

【0052】次に、ワード線WLに下記の層構成（1）からなる強磁性トンネル接合、つまりTMR素子を、公知のリソグラフィ法及びエッチングにより作製した。括弧内は膜厚を示す。

【0053】Ta (3nm) / Cu (100nm) / PtMn (20nm) / CoFe (3nm) / Ru (0.8nm) / CoFe (2.5nm) / Al (1nm) - O<sub>x</sub> / FeCoB (4nm) / Ta (5nm)

【0054】上記の層構成のうち、情報記録層を構成するFeCoBの組成を、Fe<sub>9</sub>Co<sub>8</sub>B<sub>10</sub> (原子%)とした。また、情報記録層以外のCoFeからなる層の組成を、Co<sub>75</sub>Fe<sub>25</sub> (原子%)とした。

【0055】トンネルバリア層であるAl-O<sub>x</sub>層は、先ず金属Al膜をDCスパッタ法により1nm堆積させ、その後、酸素/アルゴンの流量比を1:1とし、チャンバガス圧を0.1mTorrとし、ICPプラズマにより金属Al膜をプラズマ酸化することにより形成された。酸化時間はICPプラズマ出力に依存するが、今回の実施例では30秒とした。

【0056】また、トンネルバリア層であるAl-O<sub>x</sub>層以外は、DCマグネトロンスパッタ法を用いて成膜した。

【0057】上記の膜を積層した後、磁場中熱処理炉にて、10kOe、270℃、4時間の熱処理を行い、反強磁性層であるPtMn層の規則化熱処理を行い、強磁性トンネル接合を得た。

【0058】上記のような強磁性トンネル接合の作製後、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>をスパッタすることにより厚さ100nm程度の絶縁層25を成膜し、さらにフォトリソグラフィによりビット線BL及び端子パッド24を形成することで、図6及び図7に示すTEGを得た。

【0059】<サンプル2>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>8</sub>Co<sub>72</sub>B<sub>20</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0060】<サンプル3>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>7</sub>Co<sub>63</sub>B<sub>30</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0061】<サンプル4>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>22.5</sub>Co<sub>67.5</sub>B<sub>10</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0062】<サンプル5>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>20</sub>Co<sub>60</sub>B<sub>20</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0063】<サンプル6>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>17.5</sub>Co<sub>52.5</sub>B<sub>30</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0064】<サンプル7>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>36</sub>Co<sub>54</sub>B<sub>10</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様

にしてTEGを得た。

【0065】<サンプル8>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>32</sub>Co<sub>48</sub>B<sub>20</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0066】<サンプル9>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>28</sub>Co<sub>42</sub>B<sub>30</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

10 【0067】<サンプル10>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>25</sub>Co<sub>75</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0068】<サンプル11>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>10</sub>Co<sub>82</sub>B<sub>8</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

20 【0069】<サンプル12>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>50</sub>Co<sub>43</sub>B<sub>7</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0070】<サンプル13>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Co<sub>95</sub>B<sub>5</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0071】<サンプル14>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>10</sub>Co<sub>55</sub>B<sub>35</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

30 【0072】<サンプル15>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>30</sub>Co<sub>35</sub>B<sub>35</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0073】<サンプル16>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>40</sub>Co<sub>30</sub>B<sub>30</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0074】<サンプル17>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を、Fe<sub>50</sub>Co<sub>30</sub>B<sub>20</sub> (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0075】以上のように作製されたサンプル1～サンプル17のTEGについて、下記のようにしてTMR比、保磁力H<sub>c</sub>のばらつき、角形比及びバイアス電圧依存性を測定した。

【0076】TMR比の測定

通常のMRAM等の磁気メモリ装置では、電流磁界によって磁気抵抗効果素子を磁化反転させて情報を書き込むが、本実施例では、外部磁界によって磁気抵抗効果素子を磁化反転させることにより、TMR比の測定を行っ

た。すなわち、まず、TMR素子の情報記録層を磁化反転させるための外部磁界を、情報記録層の磁化容易軸に対して平行となるように印加した。測定のための外部磁界の大きさは、5000eとした。次に、情報記録層の磁化容易軸の一方から見て-5000eから+5000eまで掃引すると同時に、ワード線WLの端子パッド23とビット線BLの端子パッド24とにかかるバイアス電圧が100mVとなるように調節して、強磁性トンネル接合にトンネル電流を流した。このときの、各外部磁界に対する抵抗値を測定した。そして、磁化固定層と情報記録層との磁化が反平行の状態であって抵抗が高い状態での抵抗値と、磁化固定層と情報記録層との磁化が平衡の状態であって抵抗が低い状態での抵抗値の比を、TMR比とした。なお、良好な読み出し特性を得るといった観点から、このTMR比は、45%以上であることが好ましい。

#### 【0077】保磁力Hcのばらつきの測定

保磁力(Hc)は、上記のTMR比の測定法から求められるR-H曲線から求めた。そして、同一素子に対してR-H曲線を50回繰り返し測定し、最大抵抗値と最小抵抗値との半分の値に対し、保磁力(Hc)のばらつきを求めた。ばらつき値は、 $\Delta Hc/Hc$  平均値として算出した。なお、書き込み特性の向上を図るといった観点から、保磁力(Hc)のばらつきは4%以下であること\*

\*が好ましい。

#### 【0078】角形比の測定

R-H曲線から波形の角形比を求めた。すなわち、測定時の-5000eから+5000eまでの磁場範囲でのR-H曲線の $R_{1max}-R_{1min}$ とゼロ磁場(H=0)での $R_{2max}-R_{2min}$ の比、 $(R_{2max}-R_{2min})/(R_{1max}-R_{1min})$ の値を示す。角形比は、書き込み特性の向上を図るといった観点から、0.9以上であることが好ましい。

#### 10 【0079】バイアス電圧依存性の測定

バイアス電圧を100mVから1000mVまで10mV刻みに変化させながらR-H曲線の測定を行い、TMR比を求め、バイアス電圧に対してプロットした。そして、外挿された0mVでのTMR比に対して、半分になるバイアス電圧を求め、これをVhalfとした。Vhalfは、550mV以上であることが好ましい。

【0080】以上のサンプル1～サンプル17の情報記録層の組成及び膜厚を、下記の表1に示す。また、以上のように求められたTMR比、保磁力Hcのばらつき、角形比及びバイアス電圧依存性の結果を下記表2に示す。

#### 【0081】

#### 【表1】

サンプルNo.	膜構成	Fe含有量(原子%)	Co含有量(原子%)	Ni含有量(原子%)	B含有量(原子%)	情報記録層膜厚(nm)
1	1	9	81	—	10	4
2	1	8	72	—	20	4
3	1	7	63	—	30	4
4	1	22.5	67.5	—	10	4
5	1	20	60	—	20	4
6	1	17.5	52.5	—	30	4
7	1	38	54	—	10	4
8	1	32	48	—	20	4
9	1	28	42	—	30	4
10	1	25	75	—	—	4
11	1	10	82	—	8	4
12	1	50	43	—	7	4
13	1	—	85	—	5	4
14	1	10	55	—	35	4
15	1	30	35	—	35	4
16	1	40	30	—	30	4
17	1	50	30	—	20	4

#### 【0082】

#### 【表2】

サンプルNo.	膜構成	TMR比 (%)	測定したHc値ばらつき (%)	角型	Vhalf (mV)
1	1	46	3.8	0.9	550
2	1	55	1.8	0.92	700
3	1	50	2.4	0.94	620
4	1	50	3.8	0.94	560
5	1	58	1.6	0.96	730
6	1	52	2.2	0.96	640
7	1	49	3.8	0.92	560
8	1	58	1.8	0.93	720
9	1	52	2.5	0.94	610
10	1	42	5.2	0.72	540
11	1	37	4.4	0.68	570
12	1	44	5.7	0.66	580
13	1	44	6.6	0.72	560
14	1	28	7.9	0.76	490
15	1	23	8.4	0.74	510
16	1	19	5.5	0.82	530
17	1	16	4.9	0.79	540

【0083】以上の表1及び表2から明らかなように、磁化固定層及び情報記録層のいずれにおいてもBを含有しないサンプル10は、例えば情報記録層にBを僅かに含むサンプル11～サンプル13がバイアス電圧依存性Vhalfに限っては良好な値を示したのに対して、TMR比、保磁力(Hc)のばらつき、角形比及びバイアス電圧依存性Vhalfのいずれにおいても劣っていた。このことから、強磁性トンネル接合の少なくとも一方の強磁性層がFe、CoとともにBを含有することにより、書き込み特性の改善効果が得られることがわかる。

【0084】また、本発明の合金組成の範囲内であるサンプル1～サンプル9は、45%以上のTMR比が得られ、角形比が0.9以上と優れたTMR特性を示した。また、サンプル1～サンプル9は、保磁力(Hc)のばらつきが4%以下に抑制されており、磁氣的に非常に安定した状態といえる。さらに、サンプル1～サンプル9は、Vhalfが550mV以上の高い値を示しているの  
 30 で、MRAMとしての動作時において0/1の差電圧が大きくなる。したがって、サンプル1～サンプル9は、書き込み特性及び読み出し特性の双方に優れ、書き込み及び読み出しのいずれにおいてもエラーの非常に小さなMRAMを実現することができる。これに対して、本発明の組成の範囲外であるサンプル10～サンプル17は、TMR比、保磁力(Hc)のばらつき、角形比及びVhalfに劣り、書き込み特性及び読み出し特性が不十分  
 40 なものであるとわかる。

【0085】図8は、Fe、Co、Bの三元系状態図であり、上述のサンプル1～サンプル17をプロットしたものである。同図中の数値はサンプル番号を表す。図8の斜線で示す領域は、本願の組成範囲、すなわちFeが5原子%以上45原子%以下、Coが35原子%以上85原子%以下、Bが10原子%以上30原子%以下の組成範囲であり、サンプル1～サンプル9はこの範囲内におさまる。

【0086】以上のことから、強磁性トンネル接合のうちいずれか一方の強磁性層が、Fe、Co及びBを含有

し、Feが5原子%以上45原子%以下、Coが35原子%以上85原子%以下、Bが10原子%以上30原子%以下であることが好ましいとわかった。

#### 【0087】実験2

次に、強磁性トンネル接合の層構成を変化させた上で、情報記録層の最適な膜厚範囲について検討した。

【0088】<サンプル18>強磁性トンネル接合の層構成を下記のような層構成(2)とするとともに、磁化固定層及び情報記録層の組成を変化させたこと以外は、  
 10 サンプル1と同様にしてTEGを得た。すなわち、このサンプル18では、磁化固定層の組成を、本発明の組成範囲内であるFe20Co60B20(原子%)とした。また、このサンプル18の情報記録層の組成を、Fe45Co45B20(原子%)とした。さらに、このサンプル18においては、サンプル1～サンプル17とは異なり、情報記録層の膜厚を5nmとした。

Ta(3nm)/Cu(100nm)/PtMn(20nm)/CoFe(3nm)/Ru(0.8nm)/CoFe(2nm)/CoFeB(1nm)/Al(1nm)-O<sub>x</sub>/FeCoB(5nm)/Ta(5nm)

【0089】<サンプル19>強磁性トンネル接合の層構成(2)のうち、情報記録層の組成をFe40Co40B20(原子%)としたこと以外はサンプル18と同様にしてTEGを得た。

【0090】<サンプル20>強磁性トンネル接合の層構成(2)のうち、情報記録層の組成をFe35Co35B30(原子%)としたこと以外はサンプル18と同様にしてTEGを得た。

【0091】<サンプル21>強磁性トンネル接合の層構成(2)のうち、情報記録層の組成をFe8Co72B20(原子%)とし、さらに情報記録層の膜厚を2.5nmとしたこと以外はサンプル18と同様にしてTEGを得た。  
 30

【0092】<サンプル22>強磁性トンネル接合の層構成(2)のうち、情報記録層の組成をFe20Co60B20(原子%)としたこと以外はサンプル21と同様にしてTEGを得た。

【0093】<サンプル23>強磁性トンネル接合の層構成(2)のうち、情報記録層の組成をFe32Co48B20(原子%)としたこと以外はサンプル21と同様にしてTEGを得た。  
 40

【0094】<サンプル24>強磁性トンネル接合の層構成(2)のうち、情報記録層の組成をFe40Co40B20(原子%)としたこと以外はサンプル21と同様にしてTEGを得た。

【0095】<サンプル25>強磁性トンネル接合の層構成(2)のうち、情報記録層の組成をFe8Co72B20(原子%)とし、さらに情報記録層の膜厚を1.8nmとしたこと以外はサンプル18と同様にしてTEGを得た。  
 50

【0096】＜サンプル26＞強磁性トンネル接合の層構成（2）のうち、情報記録層の組成をFe<sub>20</sub>Co<sub>60</sub>B<sub>20</sub>（原子％）としたこと以外はサンプル25と同様にしてTEGを得た。

【0097】＜サンプル27＞強磁性トンネル接合の層構成（2）のうち、情報記録層の組成をFe<sub>32</sub>Co<sub>48</sub>B<sub>20</sub>（原子％）としたこと以外はサンプル25と同様にしてTEGを得た。

【0098】＜サンプル28＞強磁性トンネル接合の層構成（2）のうち、情報記録層の組成をFe<sub>9</sub>Co<sub>81</sub>B<sub>10</sub>（原子％）とし、さらに情報記録層の膜厚を10.5nmとしたこと以外はサンプル18と同様にしてTEGを得た。

【0099】＜サンプル29＞強磁性トンネル接合の層＊

＊構成（2）のうち、情報記録層の組成をFe<sub>8</sub>Co<sub>72</sub>B<sub>20</sub>（原子％）としたこと以外はサンプル28と同様にしてTEGを得た。

【0100】＜サンプル30＞強磁性トンネル接合の層構成（2）のうち、情報記録層の組成をFe<sub>7</sub>Co<sub>63</sub>B<sub>30</sub>（原子％）としたこと以外はサンプル28と同様にしてTEGを得た。

【0101】以上のサンプル18～サンプル30の情報記録層の組成及び膜厚を、下記の表3に示す。また、以上のように求められたTMR比、保磁力H<sub>c</sub>のばらつき、角形比及びバイアス電圧依存性の結果を下記表4に示す。

【0102】

【表3】

サンプルNo.	膜構成	Fe含有量(原子%)	Co含有量(原子%)	Ni含有量(原子%)	B含有量(原子%)	情報記録層膜厚(nm)
18	2	45	45	—	10	5
19	2	40	40	—	20	5
20	2	35	35	—	30	5
21	2	8	72	—	20	2.5
22	2	20	60	—	20	2.5
23	2	32	48	—	20	2.5
24	2	40	40	—	20	2.5
25	2	8	72	—	20	1.8
26	2	20	60	—	20	1.8
27	2	32	48	—	20	1.8
28	2	9	81	—	10	10.5
29	2	8	72	—	20	10.5
30	2	7	63	—	30	10.5

【0103】

【表4】

サンプルNo.	膜構成	TMR比(%)	繰返し測定時のH <sub>c</sub> 値ばらつき(%)	角型	V <sub>half</sub> (mV)
18	2	47	3.9	0.91	580
19	2	54	2	0.93	710
20	2	50	2.5	0.93	610
21	2	51	1.7	0.93	680
22	2	53	1.4	0.97	710
23	2	51	1.8	0.94	700
24	2	50	1.8	0.94	690
25	2	33	1.7	0.94	510
26	2	31	2	0.91	470
27	2	30	2.2	0.9	460
28	2	44	5.6	0.75	530
29	2	47	5.2	0.84	600
30	2	45	5	0.81	600

【0104】以上の表3及び表4から明らかなように、情報記録層の膜厚が1.8nmであるサンプル25～サンプル27及び情報記録層の膜厚が10.5nmであるサンプル28～サンプル30は、サンプル18～サンプル24に比べて、各特性のいずれかが若干劣るものであった。したがって、情報記録層の膜厚には最適範囲が存在し、1nm以上10nm以下、特に2.5nm以上7nm以下であることが好ましいとわかった。

### 【0105】実験3

次に、強磁性トンネル接合を構成する強磁性層のいずれか一方が、Fe、Co、Bの他にさらにNiを含有する場合について検討する。

【0106】＜サンプル31＞強磁性トンネル接合の層構成（1）のうち、情報記録層の組成をFe<sub>20</sub>Co<sub>35</sub>Ni<sub>35</sub>B<sub>10</sub>（原子％）としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0107】＜サンプル32＞強磁性トンネル接合の層構成（1）のうち、情報記録層の組成をFe<sub>10</sub>Co<sub>35</sub>Ni<sub>35</sub>B<sub>20</sub>（原子％）としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0108】＜サンプル33＞強磁性トンネル接合の層構成（1）のうち、情報記録層の組成をFe<sub>7</sub>Co<sub>35</sub>Ni<sub>28</sub>B<sub>30</sub>（原子％）としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0109】＜サンプル34＞強磁性トンネル接合の層構成（1）のうち、情報記録層の組成をFe<sub>15</sub>Co<sub>50</sub>Ni<sub>25</sub>B<sub>10</sub>（原子％）としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0110】＜サンプル35＞強磁性トンネル接合の層構成（1）のうち、情報記録層の組成をFe<sub>15</sub>Co<sub>40</sub>Ni<sub>25</sub>B<sub>20</sub>（原子％）としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0111】＜サンプル36＞強磁性トンネル接合の層構成（1）のうち、情報記録層の組成をFe<sub>10</sub>Co<sub>35</sub>Ni<sub>25</sub>B<sub>30</sub>（原子％）としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0112】＜サンプル37＞強磁性トンネル接合の層

構成(1)のうち、情報記録層の組成を $\text{Fe}_{10}\text{Co}_{35}\text{Ni}_{35}\text{B}_{20}$ (原子%)とし、情報記録層の膜厚を2.5nmとしたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0113】<サンプル38>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を $\text{Fe}_{15}\text{Co}_{40}\text{Ni}_{25}\text{B}_{20}$ (原子%)とし、情報記録層の膜厚を2.5nmとしたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0114】<サンプル39>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を $\text{Fe}_{20}\text{Co}_{30}\text{Ni}_{30}\text{B}_{20}$ (原子%)としたこと以外はサンプル\*

\*1と同様にしてTEGを得た。

【0115】<サンプル40>強磁性トンネル接合の層構成(1)のうち、情報記録層の組成を $\text{Fe}_{5}\text{Co}_{40}\text{Ni}_{45}\text{B}_{10}$ (原子%)としたこと以外はサンプル1と同様にしてTEGを得た。

【0116】以上のサンプル31~サンプル40の情報記録層の組成及び膜厚を、下記の表5に示す。また、以上のように求められたTMR比、保磁力 $H_c$ のばらつき、角形比及びバイアス電圧依存性の結果を下記表6に示す。

【0117】

【表5】

サンプルNo.	膜構成	Fe含有量(原子%)	Co含有量(原子%)	Ni含有量(原子%)	B含有量(原子%)	情報記録層膜厚(nm)
31	1	20	35	35	10	4
32	1	10	35	35	20	4
33	1	7	35	28	30	4
34	1	15	30	25	10	4
35	1	15	40	25	20	4
36	1	10	35	25	30	4
37	1	10	35	35	20	2.5
38	1	15	40	25	20	2.5
39	1	20	30	30	20	4
40	1	5	40	45	10	4

【0118】

【表6】

サンプルNo.	膜構成	TMR比(%)	測定時の $H_c$ 値ばらつき(%)	角型	$V_{half}$ (mV)
31	1	45	3.2	0.94	550
32	1	52	1.4	0.97	880
33	1	48	1.9	0.95	800
34	1	44	3.4	0.93	550
35	1	50	1.7	0.95	890
36	1	46	2.1	0.95	600
37	1	43	2	0.96	580
38	1	46	1.8	0.96	670
39	1	40	2.1	0.94	560
40	1	36	3.4	0.88	520

【0119】以上の表5及び表6から明らかなように、Fe、Co、Bの組成範囲が適正な範囲内であるサンプル31~サンプル38は、さらにNiを含有した場合であっても優れた書き込み特性及び読み出し特性を得られることがわかった。しかしながら、Niの含有量が45原子%であるサンプル40は、TMR比の低下、角形比の劣化及び $V_{half}$ の低下を引き起こした。このことから、Niの含有量には最適な範囲が存在し、35原子%以下であることが好ましいとわかった。また、Co含有量が不足しているサンプル39ではTMR比が低下していることから、強磁性層のベースとなる合金として、Fe及びCoの含有量が重要であるとわかった。

【0120】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、MR比の向上、R-H曲線の角形性の改善、MR比のバイアス電圧依存性の改善、保磁力のばらつきの改善を図ることにより、磁気メモリ装置等に用いられたときに書

き込み特性及び読み出し特性を同時に満足し得る磁気抵抗効果素子を提供することが可能である。

【0121】また、このような磁気抵抗効果素子を用いることにより、書き込み特性及び読み出し特性を同時に満足することが可能な磁気メモリ装置を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用したTMR素子の一例を示す要部概略断面図である。

30 【図2】情報記録層にFe、Co、Bを含有する強磁性材料を用いたTMR素子、及び情報記録層にFe、Coを含有する強磁性材料を用いたTMR素子の抵抗-外部磁場曲線を示す特性図である。

【図3】本発明を適用したTMR素子の他の例であって、積層フェリ構造を有するTMR素子を示す要部概略断面図である。

【図4】本発明のTMR素子をメモリセルとして有する、クロスポイント型MRAMアレイの要部概略斜視図である。

【図5】図4に示すメモリセルの拡大断面図である。

【図6】TMR素子評価用のTEGの平面図である。

【図7】図6中A-A線の断面図である。

【図8】本発明の最適な合金組成を説明するための三元系状態図である。

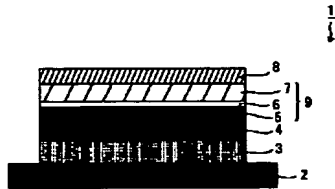
【符号の説明】

- 1 TMR素子
- 2 基板
- 3 下地層
- 4 反強磁性層
- 5 磁化固定層

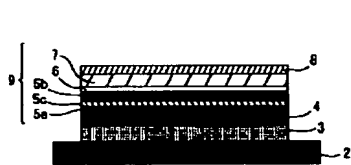
6 トンネルバリア層  
7 情報記録層

\* 8 トップコート層  
\* 9 強磁性トンネル接合

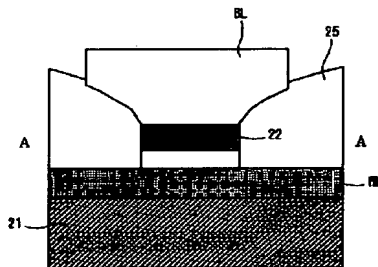
【図1】



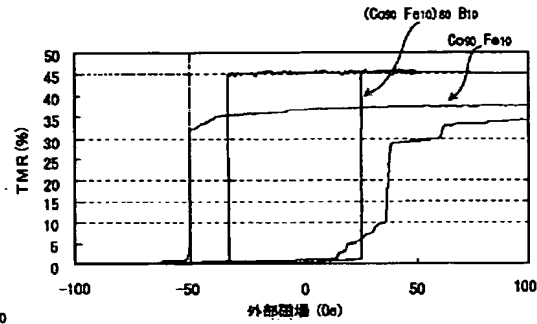
【図3】



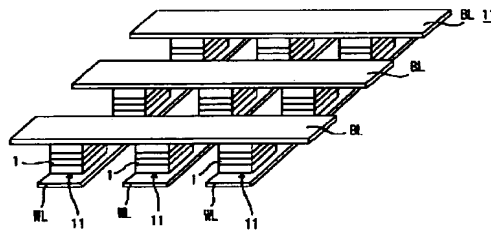
【図7】



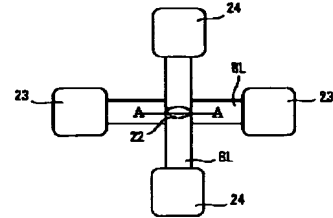
【図2】



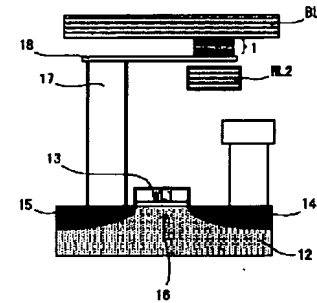
【図4】



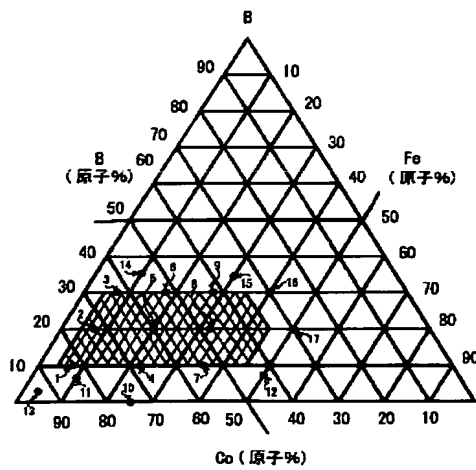
【図6】



【図5】



【図8】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	テーマコード (参考)
H 0 1 F	10/32	H 0 1 F	10/32
H 0 1 L	27/105	H 0 1 L	27/10 4 4 7
(72)発明者	大場 和博 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ ー株式会社内	(72)発明者	山元 哲也 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ ー株式会社内
(72)発明者	別所 和宏 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ ー株式会社内	(72)発明者	鹿野 博司 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ ー株式会社内
		F ターム (参考)	5E049 AA01 AA04 AA07 AA09 AC00 AC01 AC05 CB02 DB12 GC01 5F083 FZ10 GA11 JA36 JA37 JA38 JA39 JA56 MA06 MA19